

基于短波红外偏振成像的集成电路芯片污染缺陷检测

贺泽斌 陈昌 杨君 杨秉林 王爽 李克武 吴倩楠

Detection of pollution defects in integrated circuit chips using short-wave infrared polarization imaging

HE Zebin, CHEN Chang, YANG Junsheng, YANG Binglin, WANG Shuang, LI Kewu, WU Qiannan

引用本文:

贺泽斌, 陈昌, 杨君, 等. 基于短波红外偏振成像的集成电路芯片污染缺陷检测[J]. 应用光学, 2025, 46(2): 388–394. DOI: 10.5768/JAO202546.0203004

HE Zebin, CHEN Chang, YANG Junsheng, et al. Detection of pollution defects in integrated circuit chips using short-wave infrared polarization imaging[J]. Journal of Applied Optics, 2025, 46(2): 388–394. DOI: 10.5768/JAO202546.0203004

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.5768/JAO202546.0203004>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

短波红外偏振成像技术的研究进展

Research progress of short-wavelength infrared polarization imaging technologies

应用光学. 2023, 44(3): 643–654 <https://doi.org/10.5768/JAO202344.0304003>

偏振-微光一体化EMCCD相机的设计与开发

Design and development of polarization-low level light integrated EMCCD camera

应用光学. 2024, 45(2): 321–328 <https://doi.org/10.5768/JAO202445.0201007>

基于彩色偏振图像的HSV空间目标增强方法

Target enhancement method in HSV color space based on color polarized image

应用光学. 2023, 44(3): 548–555 <https://doi.org/10.5768/JAO202344.0302002>

基于主动照明调制的水下偏振成像方法

Underwater polarization imaging method based on active illumination modulation

应用光学. 2024, 45(6): 1189–1196 <https://doi.org/10.5768/JAO202445.0602003>

偏振成像在光学曲率半径测量中的应用

Application of polarization imaging in measurement of optical curvature radius

应用光学. 2021, 42(1): 95–103 <https://doi.org/10.5768/JAO202142.0103001>

一种分焦平面偏振成像系统光源标定方法

Light source calibration for divided focal plane polarization imaging system

应用光学. 2022, 43(5): 967–972 <https://doi.org/10.5768/JAO202243.0503006>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

文章编号: 1002-2082 (2025) 02-0388-07

引用格式: 贺泽斌, 陈昌, 杨君圣, 等. 基于短波红外偏振成像的集成电路芯片污染缺陷检测 [J]. 应用光学, 2025, 46(2): 388-394.

HE Zebin, CHEN Chang, YANG Junsheng, et al. Detection of pollution defects in integrated circuit chips using short-wave infrared polarization imaging[J]. Journal of Applied Optics, 2025, 46(2): 388-394.



在线阅读

基于短波红外偏振成像的集成电路芯片 污染缺陷检测

贺泽斌^{1,3,4}, 陈 昌², 杨君圣², 杨秉林², 王 爽^{3,4}, 李克武^{2,3,4}, 吴倩楠^{1,3,4}

(1. 中北大学 半导体与物理学院, 山西 太原 030051; 2. 中北大学 电气与控制工程学院, 山西 太原 030051; 3. 中北大学 前沿交叉科学研究院, 山西 太原 030051; 4. 中北大学 仪器与智能省级未来技术学院, 山西 太原 030051)

摘 要: 针对集成电路芯片污染缺陷高速、高精度的检测需求, 设计并研制了一种基于短波红外显微成像技术与偏振测量技术相结合的高精度短波红外偏振显微成像系统。检测光源透射穿过样品, 样品偏振光经过显微镜收集, 入射到由波片和检偏器构成的偏振分析装置, 从而完成样品偏振图像测量。利用偏振图像融合技术将测量得到的图像进行融合, 完成样品偏振图像特征提取, 从而实现对集成电路芯片污染的缺陷检测。采用 Op-Amp 集成芯片对芯片的边缘和中心进行了测试实验。实验结果显示, 本系统所测试的缺陷特征清晰、数量完整, 能够提供重要依据, 确保了集成电路芯片污染缺陷检测的准确性。

关键词: 短波红外; 偏振成像; 集成电路芯片; 偏振图像融合; 缺陷检测

中图分类号: TN206

文献标志码: A

DOI: 10.5768/JAO202546.0203004

Detection of pollution defects in integrated circuit chips using short-wave infrared polarization imaging

HE Zebin^{1,3,4}, CHEN Chang², YANG Junsheng², YANG Binglin², WANG Shuang^{3,4},
LI Kewu^{2,3,4}, WU Qiannan^{1,3,4}

(1. School of Semiconductor and Physics, North University of China, Taiyuan 030051, China; 2. School of Electrical and Control Engineering, North University of China, Taiyuan 030051, China; 3. Academy for Advanced Interdisciplinary Research, North University of China, Taiyuan 030051, China; 4. School of Instrument and Intelligent Provincial Future Technology, North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: Aiming at the demands of high-speed and high-precision detection of pollution defects in integrated circuit chips, a high-precision and short-wave infrared polarization micro-imaging system based on the combination of short-wave infrared micro-imaging technology and polarization measurement technology was designed and developed. The detection light source transmitted through the sample, and the polarized light of the sample was collected by the microscope and incident on the polarization analysis device composed of wave plate and polarization detector to complete the measurement of the polarized image of the sample. Then the polarized image fusion technology was used to fuse the measured images to complete the feature extraction of the polarized image of the sample, thus achieving defect detection of integrated circuit chip contamination. The edge and center of the chip were tested with Op-Amp integrated chip. The results show that the defect

收稿日期: 2024-01-09; 修回日期: 2024-09-23

基金项目: 国家自然科学基金 (62205310, 62205309)

作者简介: 贺泽斌 (1997—), 男, 硕士研究生, 主要从事介电缺陷检测研究。E-mail: hzb18235272881@163.com

通信作者: 吴倩楠 (1988—), 女, 博士, 副教授, 主要从事射频微机电器件, 电磁超材料方向研究。E-mail: qiannanwoo@nuc.edu.cn

characteristics tested by this system are clear and the quantity is complete, which can provide important basis to ensure the accuracy of integrated circuit chip contamination defect detection.

Key words: short-wave infrared; polarization imaging; integrated circuit chip; polarization image fusion; defect detection

引言

集成电路芯片是一种将多个电子元件整合在一块半导体材料上(通常是硅),从而实现高度集成和紧凑布局的技术。这种技术使得大量的晶体管、电阻器、电容器等元件能够在一个小小的芯片上同时存在,并通过相互连接和控制实现各种电路功能^[1]。目前,集成电路芯片量产技术已经进入 14 nm 及以下工艺节点。然而,集成电路技术的迅速发展,使得器件的尺寸不断缩小,在集成电路芯片制造过程的每一个环节中都可能造成缺陷,这些缺陷会导致电路的性能有所改变。其中污染缺陷可能引发电路的短路、漏电等问题,从而导致电路的性能严重下降。因此,及早发现这些污染缺陷,对于确保集成电路的质量和性能至关重要。

目前针对集成电路芯片缺陷的检测方法主要有:人工目检法^[2]、机器视觉检测技术^[3]、光学检测技术^[4]和电子束检测技术^[5]等。人工目检法不仅效率低,检测精确度也很低,已经难以适应集成电路芯片制造以及高精度检测需求^[6];机器视觉检测技术是采用机器视觉的方法对产品进行分析处理,检验产品是否符合要求,是一种无损耗的检测技术^[7],主要应用于工业检测领域^[8-9]。但机器视觉检测为非接触式的,适应性不强,对集成电路芯片的内部以及边缘的缺陷很难检测到;光学检测技术是指通过利用光电感应技术和机械测试技术相结合,得到准确实验数据^[10],且该技术速度快、精度高,无损伤。但光学检测受限于检测原理,对环境的要求高,且依赖于材料的尺寸、形状以及特性;电子束检测技术是一种利用电子束与物质相互作用来检测样品的技术,它利用扫描电镜产生聚焦电子束,并通过电子束在样片表面进行扫描,借助电子束与样品表面相互作用产生的信号,从而获得样品的信息^[11]。该技术同样精度高,但其速度相对较慢,适用于部分集成电路芯片中部分区域的抽检应用,在规模化生产中存在一定的劣势。以上 4 种检测方法都无法实现对集成电路芯片污染的精确检测。

大多数的半导体材料在可见光波段是不透明

的,而在短波红外区域,它们具有很好的透光性,因此利用短波红外光照射集成电路芯片样品,通过调整显微镜的焦距,可以清晰地捕捉到芯片的上下表面图像。当焦距调整至两次成像清晰度之间的特定位置时,便能够观察到芯片内部结构,从而识别出内部的缺陷或不均匀区域,可以实现集成电路芯片表面、内部污染的检测^[12-13]。此外,短波光照射集成电路芯片时,不仅强度信息发生变化,偏振信息也会随之变化。因此利用短波红外光照射芯片,不仅可以得到样品的强度信息,还可以得到芯片的偏振特性图像,利用此方法得到的信息比单纯的强度图像包含的信息更多^[14-15]。

针对目前对集成电路芯片的污染缺陷检测问题,本文将短波红外显微成像技术与偏振测量技术相结合,设计并研制了高精度短波红外偏振显微成像系统,并进行了实验验证。

1 检测原理

测量基本原理如图 1 所示,检测光源经分束镜反射至样品表面,样品偏振光经过显微镜收集,入射到波片和检偏器,经波片和检偏器构成的偏振分析装置,从而完成样品偏振图像的测量。

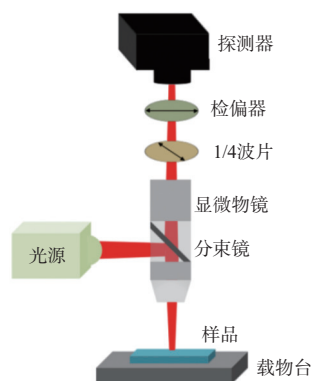


图 1 测量基本原理图

Fig. 1 Basic schematic diagram of measurement

图 1 所示测量原理,将 Stokes 矢量和 Mueller 矩阵传输的分析方法进行结合,再根据偏振传输特性,可以得出样品偏振信息经过 1/4 波片和 0°检偏器后,到达探测器的出射光的 Stokes 矢量为

$$\mathbf{S}_{\text{out}} = \mathbf{M}_{\text{波片}} \mathbf{M}_{\text{检偏}} \mathbf{S} \quad (1)$$

式中 $\mathbf{S}$ 为待测样品偏振图像的 Stokes 矢量, 可将其定义为

$$\mathbf{S} = \begin{bmatrix} S_0 \\ S_1 \\ S_2 \\ S_3 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Stokes 矢量可以用来描述光偏振状态, 也可以用于描述任意偏振光, 包括偏振光和非偏振光。式中 S_0, S_1, S_2, S_3 均用来描述光强, 其中 S_0 描述总光强 I ; S_1 描述 0° 与 90° 方向的光强差; S_2 描述 45° 方向与 135° 方向的光强差; S_3 描述右旋圆偏振光与左旋圆偏振光的光强差。

采用 Muller 矩阵描述波片和检偏器的偏振传输特性, 其中波片采用超宽带消色差 $1/4$ 波片。该波片是由石英晶体和氟化钙组成, 能够最大程度降低波长对相位延迟量的影响, 以实现消色差的效果。因此超宽带消色差波片的 Muller 矩阵为

$$\mathbf{M}_{\text{波片}} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos^2(2p) & 1/2\sin(4p) & -\sin(2p) \\ 0 & 1/2\sin(4p) & \sin^2(2p) & \cos(2p) \\ 0 & \sin(2p) & -\cos(2p) & 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

检偏器的透光轴设置在 0° 位置, 其偏振传输特性采用 Muller 矩阵描述为

$$\mathbf{M}_{\text{检偏}} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

为了能够求解出待测样品的偏振信息, 本文将超宽带消色差 $1/4$ 波片的快轴方位角 p 分别设置在 $0^\circ, 22.5^\circ, 45^\circ$ 和 135° 的位置, 并且考虑探测器能够探测到的光强为 Stokes 矢量第一分量, 将式(2)、式(3)和式(4)带入式(1), 并考虑超宽带消色差 $1/4$ 波片快轴方位角的 4 种情况, 以便能够求解出 CCD 探测器获得的探测光强:

$$\begin{cases} I_0 = S_0 + S_1 \\ I_{22.5} = S_0 + \frac{S_1}{2} + \frac{S_2}{2} - \frac{\sqrt{2}S_3}{2} \\ I_{45} = S_0 - S_3 \\ I_{135} = S_0 + S_3 \end{cases} \quad (5)$$

由式(5)便能完成样品的偏振图像测量, 所获得的 Stokes 矢量为

$$\begin{cases} S_0 = \frac{I_{45} + I_{135}}{2} \\ S_1 = I_0 - \frac{I_{45} + I_{135}}{2} \\ S_2 = 2I_{22.5} - I_0 + \frac{\sqrt{2}-1}{2}I_{45} - \frac{\sqrt{2}+1}{2}I_{135} \\ S_3 = \frac{I_{135} - I_{45}}{2} \end{cases} \quad (6)$$

最后通过测量获得样品的 Stokes 矢量图像, 然后将这些图像进行融合, 完成样品偏振图像特征提取, 从而进一步完成对样品污染的缺陷检测。

2 实验验证

按照图 1 所示测量基本原理图, 搭建了实验系统, 如图 2 所示。

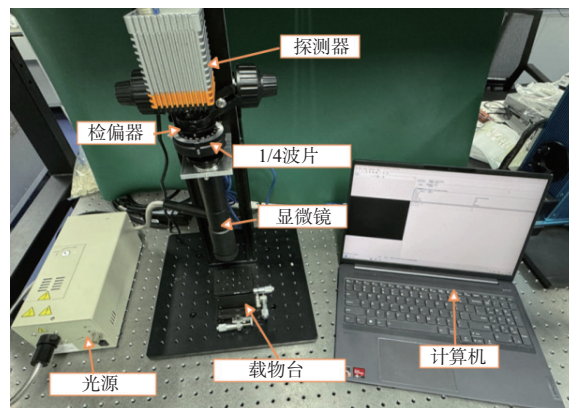


图 2 实验系统

Fig. 2 Experimental system

本系统检测光源采用的是 MORITEX 公司生产的 GMHAB-100 光源箱, 覆盖了 $900 \text{ nm} \sim 1700 \text{ nm}$ 范围内的多个波长, 光源亮度从 $0 \sim 100\%$ 连续可调。经光源箱出射的光束进入显微系统, 显微系统由本团队自行研制, 主要采用扩束装置设计。透镜扩束的光源经毛玻璃散射后会失去方向性, 形成一个均匀的、扩散的光源, 并入射到载物平台上的样品。样品偏振光经过显微物镜收集, 入射到波片和检偏器。 $1/4$ 波片选用的是麓邦光电公司的消色差 $1/4$ 波片, 其相位延迟量 $\delta = \pi/2$ 。检偏器选用大恒光电生产的 GCL-0510 偏振片, 消光比大于 $1000:1$ 。检偏后的光束最终被探测器接收, 探测器使用的是 Xenics 公司生产的 Bobcat 640 短波红外 InGaAs 面阵相机, 光谱响应范围为 $900 \text{ nm} \sim 1700 \text{ nm}$, 最快帧频为 100 Hz , 最高动态范围为 60 dB , 能够满足显微成像的探测要求。

短波红外偏振显微成像在显微分辨条件下, 同

时获取了样品的图像信息和偏振信息。将图像信息和偏振信息综合利用, 分析样品污染缺陷的特征; 利用偏振图像融合的缺陷特征聚类分析算法, 完成对样品污染缺陷的快速识别判断和定位, 运用 MATLAB 软件对样品的偏振图像进行分析以及融合处理, 再根据不同缺陷的特点, 分别突出显示出各个缺陷, 便于区分与观测。

2.1 有机污染检测分析

集成电路芯片属于一种微电子元件, 在集成电路的生产过程中, 由于使用的材料、溶剂或工艺等因素, 会导致有机化合物在制造过程中被产生或释放, 从而污染集成电路芯片, 严重损坏芯片的质量, 降低芯片的性能。目前的检测方法对比度低, 且精度不高, 无法清晰识别有机污染缺陷的情况。

因此, 为了验证本系统的可行性, 选取了 Op-Amp 集成芯片为待测样品, 在其边缘位置进行采样。将消色差 1/4 波片的快轴方位角 p 依次设置在 0° , 22.5° , 45° 和 135° 的位置, 并且在消色差 1/4 波片每个角度设置位置, 获得偏振图像 I_0 、 $I_{22.5}$ 、 I_{45} 和 I_{135} , 带入式(6)并完成样品 $S=(S_0, S_1, S_2, S_3)$ 这 4 个 Stokes 矢量图像的测量。求解全部 Stokes 矢量 $S=(S_0, S_1, S_2, S_3)$, 利用这 4 个参量可以进一步求解出偏振度 (degree of polarization, DOP), 线偏振度 (degree of linear polarization, DOLP), 偏振度角 Ψ 和椭圆角 X :

$$\begin{cases} D_{OP} = \frac{\sqrt{S_1^2 + S_2^2 + S_3^2}}{S_0} \\ D_{OLP} = \frac{\sqrt{S_1^2 + S_2^2}}{S_0} \\ \Psi = \frac{1}{2} \arctan\left(\frac{S_2}{S_1}\right) \\ X = \frac{1}{2} \arcsin\left(\frac{S_3}{\sqrt{S_1^2 + S_2^2 + S_3^2}}\right) \end{cases} \quad (7)$$

结合上述一共 8 个偏振参量, 采用偏振特征图像融合的方法, 并通过配套的软件, 生成对应的短波红外偏振图像, 完成对有机污染的检测分析。

在图像处理的过程中, 熵值通常被用来评价图像的清晰度和分割质量。熵值越高, 表示图像包含的信息越丰富。图像的梯度平均值也是衡量图像清晰度的一个重要指标, 它能够显示图像细节的对比度变化速度。在处理多角度偏振图像与偏振图像的融合时, 需要同时考虑图像的清晰度和信息量, 特别是目标的细节表现。因此, 本研究提出的融合算法基于熵值和梯度平均值来控制融合

过程, 构建了一套融合规则库, 根据图像特征 (即数据判定标准) 来调整融合权重, 以达到最佳的融合效果。

设多角度偏振图像 I_0 每个像素点的灰度值为 g_{in} , 偏振度图像每个像素点的灰度值为 g_{po} , 那么融合图像每个点的像素值为 g_{fu} , 则有:

$$g_{fu} = m \times g_{in} + (1 - m) \times g_{po} \quad (8)$$

式中 m 为融合调节因子。

设多角度偏振图像 I_0 的平均梯度为 G_{in} , 偏振度图像的平均梯度为 G_{po} , 则平均梯度评价函数为

$$f(G) = \ln\left(\frac{G_{po}}{G_{in}}\right) \quad (9)$$

设多角度偏振图像 I_0 的信息熵为 I_{in} , 偏振度图像的信息熵为 I_{po} , 则融合图像信息熵 I_{fu} 的评价函数为

$$f(I) = \ln\left(\frac{I_{fu}}{\sqrt{I_{in}^2 + (kI_{po})^2}}\right) \quad (10)$$

式中 k 为调整系数, 使用图像的平均梯度和信息熵作为融合过程的控制参数。初始设定融合参数 m 为 0.5, k 为 0.7, 以此来计算融合图像的熵值。通过比较融合后的图像, 评估其视觉质量和数据质量, 以验证参数设置的合理性和融合规则的有效性。根据计算得到 $f(I)$ 与 $f(G)$ 值, 可以进一步调整 m 值, 并将其应用于其他多角度偏振图像与偏振度图像的融合中, 进行迭代优化。当引入新的测试图像时, 重复上述实验流程, 并与之前的结果进行比较, 以选择能够最大程度提升图像质量的参数组合, 包括主观和客观的评价标准。通过这种方式, 可以实现最佳的图像融合效果。

最后经过 100 组仿真实验, 确定了融合控制参数的输出值。以下是融合调节因子 m 的控制规则:

- 1) If $f(G) < 1$ or $I_{po} \leq I_{in}$, then $m = 0.5$;
- 2) If $f(G) > 1.65$ and $f(I) \leq 1$, ($kI_{po} \geq I_{in}$), then $m = 0.7 + 0.65f(I)$;
- 3) If $f(G) > 1.65$ and $f(I) > 1$, then $m = 0.7 + 0.45f(I)$;
- 4) If $f(G) > 1.65$ and $f(I) \leq 1$, ($kI_{po} < I_{in}$), then $m = 0.7 - 0.19f(I)$;
- 5) If $1 \leq f(G) \leq 1.65$ and $f(I) \leq 1$, ($kI_{po} \geq I_{in}$), then $m = 0.7 + 0.06f(I)$;
- 6) If $1 \leq f(G) \leq 1.65$ and $f(I) > 1$, then $m = 0.7 - 0.34f(I)$;

7) If $1 \leq f(G) \leq 1.65$ and $f(I) \leq 1$, ($k I_{po} < I_{in}$), then $m = 0.7 - 0.57 f(I)$.

利用上述融合规则实时计算融合调节因子 m , 选择有机污染进行验证, 实验结果如图 3 所示。

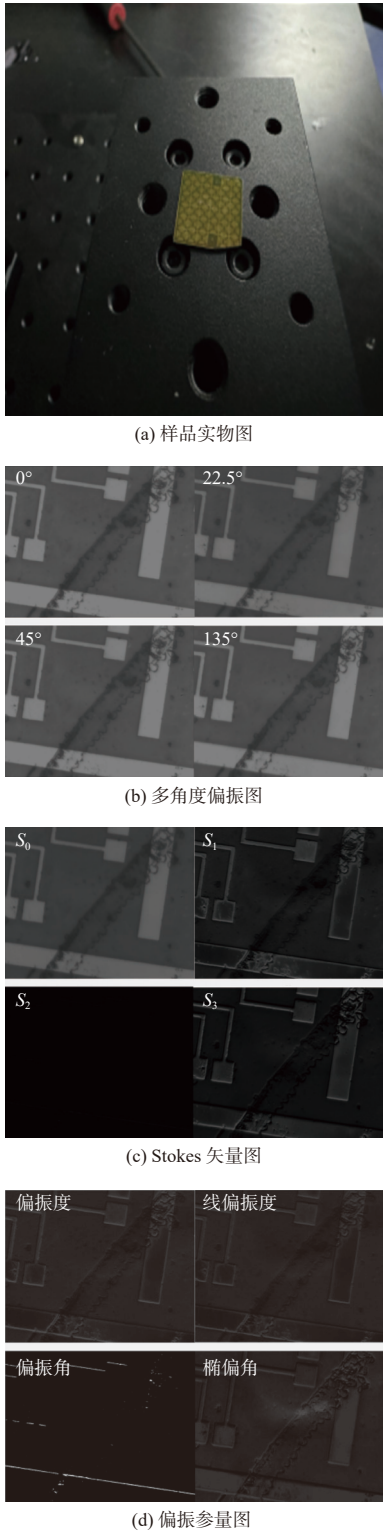


图 3 有机污染检测

Fig. 3 Organic contamination detection

由图 3 可以看出, 实物图、相机直接得到的图 3(a) 样品实物图以及图 3(b) 多角度偏振图可以观察到缺陷的痕迹, 但由于对比度不高, 导致边缘不清晰。而在图 3(c) Stokes 矢量图以及图 3(d) 偏振参量图中, 可以看到缺陷痕迹的边缘, 但是目标过暗, 不利于区分背景。且样品对 135° 线偏振光的敏感性强于 45° 线偏振光, 导致 Stokes 矢量 S_2 及偏振角 φ 为负值。

如图 4 所示, 经过图像融合之后, 对比度提高, 视觉效果更为明确, 可清晰地识别污染痕迹轮廓。图像质量数据对比如表 1 所示, 计算量评估结果如表 2 所示。

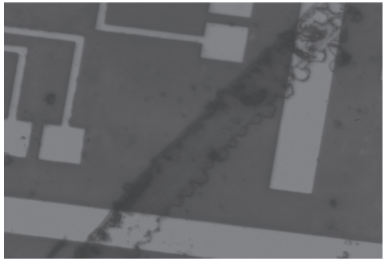


图 4 有机污染融合图像

Fig. 4 Fusion image of organic contamination

表 1 图像质量数据对比

Table 1 Comparison of image quality data

图像类别	图像信息熵	平均梯度
多角度偏振图像 I_0	4.180 7	78.044 0
偏振度图像	4.783 4	408.814 3
融合图像	6.684 9	412.140 0

表 2 计算量评估结果

Table 2 Evaluation results of calculation quantity

图像类别	多角度偏振图像 I_0	偏振度图像	融合图像
运算时间/s	0.108	0.112	0.121

对表 2 进行分析, 融合之后图像较多角度偏振图像的信息熵提高了 1.6 倍、平均梯度提高了 5.3 倍, 但在检测速度方面相差不大, 证明了融合算法的有效性, 验证了系统满足对有机污染的检测要求。

2.2 固体颗粒污染检测分析

固体颗粒污染会对集成电路芯片的电气性能、可靠性以及光学性能产生很重要的影响, 需在制造过程中进行严格的控制。因此要保证集成电路芯片的成品率, 降低颗粒污染度尤为重要, 可以很大程度上提升成品率。

为了进一步验证系统对于集成电路芯片固体

颗粒污染检测的可行性, 本次检测选取的还是 Op-Amp 集成芯片, 在其中心位置进行采样, 利用融合规则计算调节因子 m , 对多角度偏振图像与偏振度图像进行融合, 验证结果如图 5 所示。

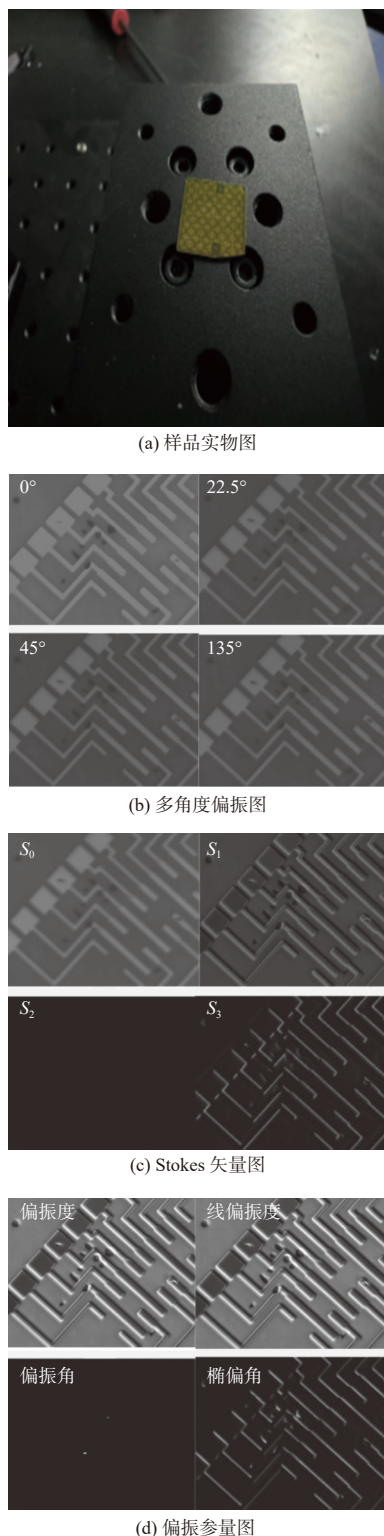


图 5 固体颗粒污染检测

Fig. 5 Solid particle contamination detection

由图 5 可以看出, 图 5(b) 多角度偏振图像只能看到少数的暗斑, 不能清晰地观察污染缺陷; 图 5(c) Stokes 矢量图以及图 5(d) 偏振参量图可以看到污染痕迹, 但与痕迹周围的背景对比度不高, 且污染缺陷痕迹的轮廓有虚影, 并不能识别出具体的缺陷情况。且样品除了对 135° 线偏振光的敏感性强于 45° 线偏振光之外, 对左旋圆偏振光的敏感性也接近于右旋圆偏振光, 导致 Stokes 矢量 S_2 、 S_3 、偏振角 ψ 和椭圆偏角 χ 灰度值图像非常暗。

如图 6 所示, 经过图像融合之后, 可以清晰地识别出固体颗粒污染缺陷的轮廓, 并且能够观察到的缺陷数量较之前更多, 能够很直观地判别出缺陷的形状。

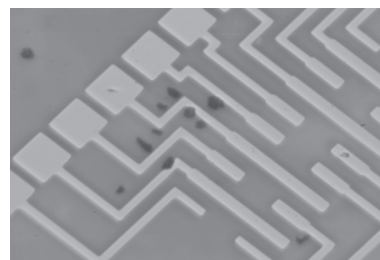


图 6 固体颗粒污染融合图像

Fig. 6 Fusion image of solid particle contamination

如表 3 所示, 融合后的图像相较于多角度偏振图像, 信息熵提高了 1.75 倍, 平均梯度提高了 6.2 倍, 同样验证了系统也满足对固体颗粒污染检测的要求。计算量评估结果如表 4 所示。

表 3 图像质量数据对比

Table 3 Comparison of image quality data

图像类别	图像信息熵	平均梯度
多角度偏振图像 I_0	4.934 1	71.774 2
偏振度图像	5.684 1	430.620 0
融合图像	6.943 0	445.122 0

表 4 计算量评估结果

Table 4 Evaluation results of calculation quantity

图像类别	多角度偏振图像 I_0	偏振度图像	融合图像
运算时间/s	0.118	0.126	0.131

3 结论

本研究将短波红外显微成像技术和偏振测量技术相融合, 成功设计并开发了一种高精度的短波红外偏振显微成像系统, 可实现对集成电路芯

片污染缺陷的高精度检测。分别对 Op-Amp 集成芯片的边缘位置和中心位置进行了有机污染缺陷以及固体颗粒缺陷检测,检测后通过偏振图像融合技术处理后的图像中可以清晰地看到污染痕迹,且痕迹对比度高、边缘清晰、数量完整,在数据对比上图像的信息熵和平均梯度都体现出了巨大优势,证明该系统能够对污染缺陷实现高精度成像。此系统的主要优势在于操作方便,符合实际测量需求,可以实现高速、高精度的集成电路芯片污染缺陷检测。

参考文献:

- [1] 王柱. 集成电路芯片制造技术与工艺研究[J]. 电子元件与信息技术, 2022, 6(3): 20-22.
WANG Zhu. Research on manufacturing technology and technology of IC chip[J]. Electronic Component and Information Technology, 2022, 6(3): 20-22.
- [2] MAZAHARI M, SAGGU M, WUCHNER K, et al. Monitoring of visible particles in parenteral products by manual visual inspection—reassessing size threshold and other particle characteristics that define particle visibility[J]. Journal of Pharmaceutical Sciences, 2024, 113(3): 9.
- [3] MA Y, LI Q, ZHOU Y, et al. A surface defects inspection method based on multidirectional gray-level fluctuation[J]. International Journal of Advanced Robotic Systems, 2017, 14(3): 238-241.
- [4] QIU T, LIN Z, TSAI C J, et al. An automatic defect-inspection method for optical isolators using image analysis[J]. *at-Automatisierungstechnik*, 2022, 70(7): 662-675.
- [5] LEI M, WY K T. Detection of sub-design rule shorts for process development in advanced technology nodes[J]. *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, 2017, 30(4): 418-425.
- [6] 王新宇, 蒋三新. 芯片缺陷检测综述[J]. 现代制造技术与装备, 2022, 58(5): 94-98.
WANG Xinyu, JIANG Sanxin. Overview of chip defect detection[J]. Modern Manufacturing Technology and Equipment, 2022, 58(5): 94-98.
- [7] 葛凌慧, 周慧忠, 谢俊, 等. 集成电路芯片机器视觉检测技术分析[J]. 数码设计, 2023(3): 98-100.
GE Linghui, ZHOU Huizhong, XIE Jun, et al. Analysis of machine vision inspection technology for integrated circuit chips[J]. Peak Data Science, 2023(3): 98-100.
- [8] 张鹏远. 机械制造自动化中关于机器视觉技术的实践应用[J]. 流体测量与控制, 2022, 3(2): 1-4.
ZHANG Pengyuan. Practical application of machine vision technology in mechanical manufacturing automation[J]. Fluid Power Transmission & Control, 2022, 3(2): 1-4.
- [9] 朱云, 凌志刚, 张雨强. 机器视觉技术研究进展及展望[J]. 图学学报, 2020, 41(6): 871-890.
ZHU Yun, LING Zhigang, ZHANG Yuqiang. Research progress and prospect of machine vision technology[J]. Journal of Graphics, 2020, 41(6): 871-890.
- [10] 李岳峰. 自动光学检测技术的发展现状[J]. 军民两用技术与产品, 2017(20): 194.
LI Yuefeng. Development status of automatic optical inspection technology[J]. Dual Use Technologies & Products, 2017(20): 194.
- [11] 郭杰, 李世光, 赵焱, 等. 电子束硅片图形检测系统中的纳米级对焦控制技术[J]. 中国光学, 2019, 12(2): 242-255.
GUO Jie, LI Shiguang, ZHAO Yan, et al. Nano-scale focus control technology in electron beam wafer pattern inspection system[J]. *Chinese Optics*, 2019, 12(2): 242-255.
- [12] SUNG Y, WANG W. Hyperspectral confocal microscopy in the short-wave infrared range[J]. *Optics Letters*, 2023, 48(15): 3993-3996.
- [13] 宋雪冬, 马英超, 周琦, 等. 短波红外相机实时坏像元检测与补偿方法[J]. 光子学报, 2022, 51(9): 299-310.
SONG Xuedong, MA Yingchao, ZHOU Qi, et al. Real-time bad pixel detection and compensation method for short-wave infrared camera[J]. Acta Photonica Sinica, 2022, 51(9): 299-310.
- [14] 李智渊, 翟爱平, 冀莹泽, 等. 光学偏振成像技术的研究、应用与进展[J]. 红外与激光工程, 2023, 52(9): 298-313.
LI Zhiyuan, ZHAI Aiping, JI Yingze, et al. Research, application and progress of optical polarization imaging technology[J]. Infrared and Laser Engineering, 2023, 52(9): 298-313.
- [15] 李子园, 金伟其. 短波红外偏振成像技术的研究进展[J]. 应用光学, 2023, 44(3): 643-654.
LI Ziyuan, JIN Weiqi. Research progress of short-wavelength infrared polarization imaging technologies[J]. *Journal of Applied Optics*, 2023, 44(3): 643-654.